

Sulla risoluzione degli indirizzi IP

Parte I - Generalità

Stefano Bonacina (*), **Enrico Cavalli** (**),
Francesca Giuratrabocchetti (**), **Gianpiero Limongiello** (**),
Davide Stefanoni (***)

(*) *Dottorato di Ricerca in Bioingegneria – XVI ciclo – Politecnico di Milano*

(**) *CILEA, Segrate*

(***) *già Politecnico di Milano e Medical Informatics Training Program of the National Library of Medicine (NLM), at the National Institute of Health (NIH), Bethesda, MD, USA*

Abstract

A partire da questo numero viene pubblicata una monografia a puntate sul riconoscimento degli indirizzi IP. Il lavoro è originato dalla attività di dottorato di Stefano Bonacina, dottorando in Bioingegneria del Politecnico di Milano. Il documento originale è stato curato e rivisto nel suo complesso dagli specialisti di reti del CILEA, anche per tenere conto delle attuali evoluzioni delle soluzioni software. Questa prima parte descrive i concetti generali indispensabili per affrontare le parti successive.

Keywords: Telematica, TCP/IP, DNS, Reti.

La struttura degli indirizzi IP

L'identificazione dei calcolatori connessi alla rete Internet – la più grande rete di calcolatori al mondo, basata sull'architettura di rete TCP/IP – è ottenuta tramite gli indirizzi IP. Un indirizzo IP è una stringa di caratteri che identifica univocamente una entità di rete [1].

Il software che gestisce il TCP/IP nasconde i dettagli implementativi delle reti fisiche e fa apparire la rete Internet come una singola entità uniforme. I progettisti del protocollo TCP/IP hanno scelto uno schema, analogo agli indirizzi della rete fisica, in cui ciascun *host* su Internet è assegnato un indirizzo a 32 bit. *Host* è sinonimo di End System nella architettura TCP/IP; End System è un termine OSI usato per indicare un nodo che può agire solamente come sorgente o destinazione finale di dati dell'utente e che non effettua le funzioni di routing [1].

Ad ogni *host* su una rete TCP/IP è assegnato un unico indirizzo IP a 32-bit e quell'indirizzo è utilizzato per comunicare con quel particolare *host*. Poiché l'indirizzo IP codifica sia una rete

che un *host* su quella rete, esso non specifica un singolo computer, ma la connessione tra una entità di rete e la rete stessa. Ad esempio un router, connesso a N reti, avrà N distinti indirizzi IP per ciascuna connessione di rete [2]. L'indirizzamento IP è parte integrante del processo di instradamento dei messaggi sulla rete. Gli indirizzi IP, che devono essere univoci sulla rete, sono lunghi 32 bit, cioè quattro byte e sono convenzionalmente espressi scrivendo i valori decimali di ciascun byte separati dal carattere punto [1].

Esempi di indirizzi IP sono:

34.0.0.1, 129.130.7.4 e 197.67.12.3

Per esempio la rappresentazione binaria:

11000101010000110000011000000011

corrisponde all'indirizzo numerico:

197 . 67 . 12 . 3

In origine gli indirizzi IP erano composti da due parti. La prima parte indicante l'indirizzo della

rete (indirizzo del network), la seconda quello dello *host* all'interno della rete.

Occorre subito evidenziare che, dal punto di vista tecnico, non sono i nodi ad avere un indirizzo IP, bensì le singole interfacce di rete. Quindi se un nodo ha tre interfacce, esso avrà (almeno) tre indirizzi IP. Poiché la maggior parte dei nodi ha una sola interfaccia, è uso comune parlare dell'indirizzo IP di un nodo. Vi sono casi particolari, tuttavia, dove tale uso è effettivamente erraneo: per esempio i *router* (nodi di "scambio" del traffico di rete) che hanno, per definizione, più di una interfaccia [1].

Gli indirizzi IP sono stati inizialmente suddivisi in cinque classi [1], come schematizzato in Figura 1:

Classe A. Insieme di indirizzi concepiti per poche reti di dimensioni molto grandi. I bit che indicano la rete sono 7 e quelli che indicano la parte *host* 24. Quindi si possono avere al massimo 128 reti di classe A, ciascuna con una dimensione massima di circa 16 milioni di indirizzi. Gli indirizzi di classe A sono riconoscibili in quanto il primo campo dell'indirizzo è compreso tra 0 e 127.

Classe B. Sono concepiti per un numero medio reti di dimensioni medio-grandi. I bit che indicano la rete sono 14 e quelli che indicano lo *host* 16. Quindi si possono avere al massimo circa 16000 reti di classe B, ciascuna con una

dimensione massima di circa 64000 indirizzi. Gli indirizzi di classe B sono riconoscibili in quanto il primo campo dell'indirizzo è compreso tra 128 e 191.

Classe C. Sono concepiti per moltissime reti di dimensioni piccole. I bit che indicano la rete sono 21 e quelli che indicano lo *host* 8. Quindi si possono avere al massimo circa due milioni di reti di classe C, ciascuna con una dimensione massima di 256 indirizzi. Gli indirizzi di classe C sono riconoscibili in quanto il primo campo dell'indirizzo è compreso tra 192 e 223.

Classe D. Sono riservati ad applicazioni *multicast*, secondo quanto descritto nel documento **RFC1112** (RFC sta per Requests For Comments ed indica un insieme di documenti, totalmente pubblici, tramite i quali vengono fissate le regole ed i modi di funzionamento della rete Internet. I documenti sono tecnicamente indicati dalla sigla RFC seguita da un numero progressivo. Gli "RFC" contengono anche informazioni su sé stessi. Si veda ad esempio <http://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc2555.txt>).

Gli indirizzi di classe D sono riconoscibili in quanto il primo campo dell'indirizzo è compreso tra 224 e 239.

Classe E. Questi indirizzi sono riservati per usi futuri. Gli indirizzi di classe E sono riconoscibili in quanto il primo campo dell'indirizzo è compreso tra 240 e 255.

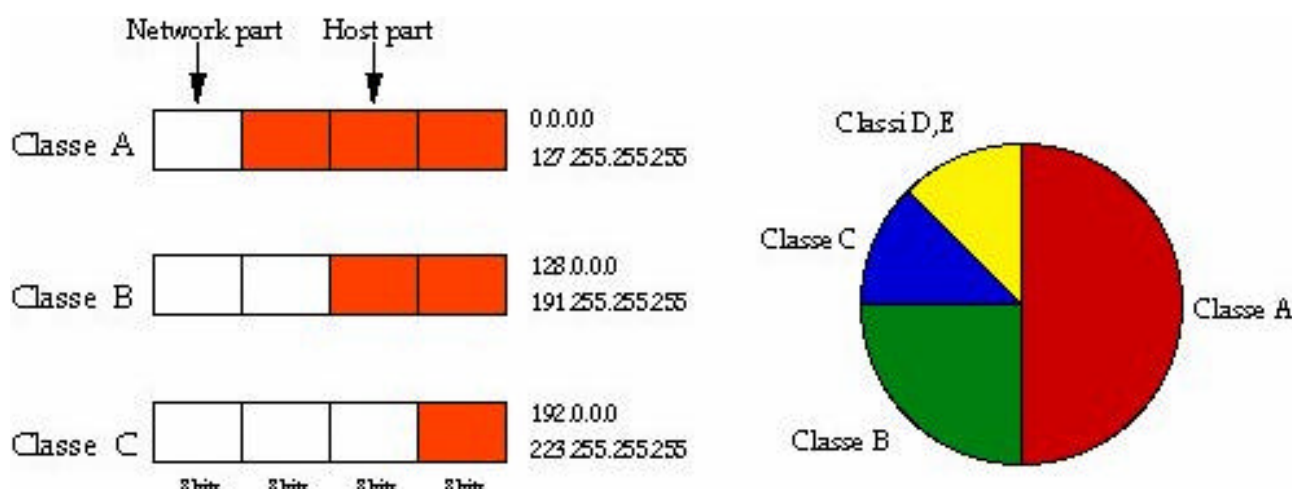


Figura 1- Suddivisione in classi degli indirizzi IP e ampiezza percentuale delle classi

Il sottoinsieme degli indirizzi di classe A rappresenta il 50% dell'insieme degli indirizzi

possibili, sono invece i 126 numeri di network utilizzabili; il sottoinsieme della classe B

rappresenta il 25% dell'insieme degli indirizzi, mentre il sottoinsieme della classe C, che rappresenta il 12% degli indirizzi possibili, permette circa due milioni di numeri di network. Queste caratteristiche differenziano l'assegnazione di classe ai vari network secondo le loro dimensioni. Infatti la classe A è destinata a grosse organizzazioni con un elevatissimo numero di nodi, la classe B a medie organizzazioni con un numero consistente di nodi, mentre la classe C è destinata a piccole reti locali con un numero di nodi inferiore a 250.

Lo schema di indirizzamento in qui descritto richiede un unico prefisso di rete per ciascuna rete fisica. A partire dagli anni Ottanta le tecnologie per le reti locali (Local Area Network, LAN) si diffusero sempre più, e l'assegnare ad ogni rete fisica un unico prefisso avrebbe velocemente esaurito lo spazio di indirizzamento consentito. La suddivisione ora descritta si dimostrò infatti limitata da una certa rigidità strutturale che, se applicata come previsto e senza alcuna modifica, avrebbe ben presto portato ad un eccessivo spreco di risorse oltremodo preziose quali gli indirizzi di rete. Per consentire a diverse reti fisiche di condividere lo stesso prefisso venne così creato il concetto di *subnet*, o sottorete, sottraendo qualche bit da quelli riservati allo host; ciò permise una maggiore flessibilità di configurazione anche per realtà di dimensioni non necessariamente omogenee alla classificazione "A", "B" o "C".

In tal modo, la parte host di un indirizzo di queste tre classi può essere ulteriormente divisa in due parti: *subnet* e *host*. Il *subnetting* è discusso nel documento **RFC0950**.

L'ampiezza dei campi *subnet* e *host* può essere definita in modo estremamente flessibile tramite un parametro detto *netmask*. La *netmask*, composta da 4 byte come l'indirizzo TCP/IP, contiene bit con valore “1” (uno) in corrispondenza dei campi *network* ed eventuale *subnet*, hanno valore “0” (zero) invece, in corrispondenza del campo *host*.

Ad esempio la seguente netmask

1111111	1111111	1111111	0000000
---------	---------	---------	---------

più leggibile se scritta come un indirizzo IP 255.255.255.0 o in esadecimale FFFFFFF0, indica che il campo host coincide con l'ultimo byte dell'indirizzo.

Negli anni Novanta, una seconda estensione venne aggiunta per superare la gerarchia delle classi permettendo la divisione tra suffisso e prefisso in un punto qualsiasi dell'indirizzo: *classless addressing* o *supernetting* [3]. Questo metodo permette un'utilizzazione più completa dello spazio di indirizzamento. Il CIDR (*Classless Inter Domain Routing*) è uno schema che sostituisce i vecchi sistemi basati sulla suddivisione in classi. L'indirizzo IP in questo modo può essere suddiviso in più sottoreti a seconda delle esigenze. In un indirizzo IP è possibile identificare un numero di rete, una serie di sottoreti, e il numero proprio dell'host [3], come illustrato nella Figura 2.

Network number	Uno o più Subnet number	Host number
-------------------	----------------------------	----------------

Extended Network Prefix

Figura 2 – Struttura di un indirizzo IP

La coppia numero di rete e numeri di *subnet* costituisce il Prefisso di Rete Esteso (Extended Network Prefix). Il punto di divisione tra prefisso di rete e numero di *host* è indicato tramite una maschera, costituita come nel caso dell'indirizzo IP da un numero di 32 bit, denominata *subnet mask*. La *subnet mask* è una serie di "1", a partire a sinistra verso destra, posti in corrispondenza dei bit che appartengono al prefisso di rete esteso e una serie di "0" in corrispondenza dei bit restanti che si riferiscono al numero di *host*. Come notazione alternativa è possibile aggiungere al termine dell'indirizzo IP una barra ("*r*", *slash*) seguita da un numero, indicante quanti bit sono impiegati per la lunghezza del prefisso di rete.

Ad esempio:

subnet mask:

11111111.11111111.11110000.00000000

255.255.240.0/20

indirizzo IP :

11001000.00011001.00010000.00000000

200.25.16.0/20

Eseguendo l'operazione di AND "bit a bit" tra un indirizzo IP e una *subnet* mask si ottiene il numero di rete, comprensivo del numero di *subnet*.

Ad esempio i valori di default per le prime tre classi sono:

Classe A:

255.0.0.0

in binario

11111111.00000000.00000000.00000000

Classe B:

255.255.0.0

in binario

11111111.11111111.00000000.00000000

Classe C:

255.255.255.0

in binario

11111111.11111111.11111111.00000000

Non tutti gli indirizzi IP disponibili sono usati per identificare la connessione tra un *host* ed una rete; infatti ne esistono alcuni riservati per scopi particolari. Gli indirizzi compresi tra 224 e 255 sono riservati, come già visto, alle classi

speciali D ed E; quelli che iniziano per 127 sono definiti indirizzi di *loopback*, ossia puntano tutti alla macchina stessa su cui vengono usati: è uno standard del protocollo IP e non possono mai comparire in Internet. Per le reti private interne, dette comunemente *Intranet*, sono riservati tre agglomerati di indirizzi:

da 10.0.0.0 a 10.255.255.255,

da 172.16.0.0 a 172.31.255.255

e quelli

da 192.168.0.0 a 192.168.255.255

Questi gruppi di indirizzi non vengono assegnati come indirizzi "pubblici" su Internet. Infine, il protocollo TCP/IP prevede di considerare un campo composto da tutti "1" col significato di "tutti" (tutti gli *host*), e un campo composto da tutti "0" col significato di "questo" (questa rete, questo *host*). Si veda la Tabella 1.

La nuova versione del protocollo IP, IPv6 (essendo IPv4 la versione attuale, e 5 il numero riservato ad una versione prototipale di protocollo di trasmissione *real-time*, mai implementata), prevede amplissime capacità di indirizzamento, risolvendo strutturalmente uno dei maggiori problemi evidenziati da quella corrente: la carenza di indirizzi disponibili. L'indirizzo IP passa da 32 a 128 bit, rendendo disponibile una gerarchia con un maggior numero di livelli e consentendo un numero elevatissimo di nodi indirizzabili. Il protocollo IPv6 è descritto nel documento **RFC1883** [4].

Intervallo di indirizzi		Ambito di impiego
10.*.*.*		Reti private interne
127.*.*.*		Loopback
da 172.16.0.0 a 172.31.255.255		Reti private interne
da 192.0.0.0 a 192.0.255.255		Riservati
da 192.168.0.0 a 192.168.255.255		Reti private interne
Tutti 0		Questo <i>host</i>
Tutti 1		Broadcast limitato a questa rete
Rete	Tutti 1	Broadcast diretto sulla rete indicata
Tutti 0	Host	Host su questa rete

Tabella 1 - Intervallo di indirizzi IP ed ambito di impiego

Le Autorità preposte per la gestione degli indirizzi IP

La proprietà e il coordinamento dell'intero spazio di indirizzamento IP erano affidati alla organizzazione IANA (*Internet Assignment Numbers Authority*) [5], le cui funzioni sono state assunte da ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*) [6]. In passato la gestione di tale spazio era a carico di una unica organizzazione (*InterNIC*) la quale distribuiva centralmente indirizzi IP su richiesta dei singoli utenti. Tale gestione avviene oggi in modo gerarchico: ICANN assegna a differenti **Regional Internet Registry**, i quali devono garantire univocità a livello mondiale, blocchi di indirizzi IP affinché questi vengano distribuiti all'interno delle rispettive aree geografiche di competenza. Gli indirizzi vengono assegnati in base alla collocazione geografica del richiedente, secondo le indicazioni del documento **RFC1366** del 1992. L'elenco attuale dei Regional Registry è il seguente:

- ❑ **ARIN** (*American Registry for Internet Numbers*) in America, serve Nord-America, Sud-America ed Africa sub-Sahariana. Fino al 31 dicembre 1997 l'attività di ARIN era svolta da InterNIC.
- ❑ **APNIC** (*Asia Pacific Network Information Centre*), in Asia, serve prevalentemente la regione Pacifica dell'Asia.
- ❑ **LACNIC** (*Latin American and Caribbean region*) in Uruguay, serve l'America Latina e i Caraibi, aree precedentemente coperte da ARIN. E' stato approvato ufficialmente il 31 ottobre 2002.
- ❑ **RIPE NCC** (*Réseaux IP Européens Network Coordination Centre*), Europa, Medio Oriente, parti dell'Africa.
- ❑ **AFRINIC** (*African RIR*) Regional Registry emergente che servirà l'Africa, attualmente gestita in parte da ARIN e in parte da RIPE NCC, non ancora attivo.

E' possibile consultare una tabella che associa ad ogni stato il RIR corrispondente, all'URL <http://www.ripe.net/ripenncc/mem-services/general/rir-areas.html>

I Regional Registry assegnano blocchi di indirizzi IP ai rispettivi **Local Internet Registry (LIR)**. A loro volta, questi ultimi, li assegneranno agli utenti di loro competenza territoriale, Figura 3. Il processo di

assegnazione prende il nome di *allocation*; i blocchi assegnati prendono il nome di *delegated blocks*.

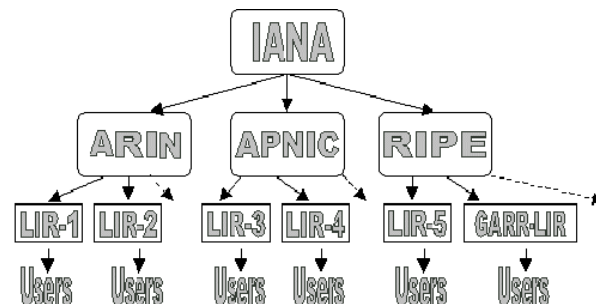


Figura 3 – La struttura gerarchica degli assegnamenti di indirizzi

Le funzioni di un Regional Internet Registry possono essere così schematizzate [7]:

- ❑ Gestione dei blocchi di indirizzi IP assegnati al Registry da ICANN, e conseguente responsabilità di come questi blocchi vengono distribuiti ai Local Internet Registry e di come questi ultimi li assegnano ai loro utenti.
- ❑ Mantenimento di un database per la documentazione delle informazioni relative ai blocchi dei quali il Regional Registry è responsabile. Questo database viene identificato con il nome di **Allocation Registry Database**. I database gestiti dai Regional Registry devono potere essere consultati dalla comunità di Internet.

Analogamente [7] le funzioni di un Local Internet Registry possono essere così schematizzate:

- ❑ Controllo dei blocchi di indirizzi IP assegnati al Local Registry dal Regional Internet Registry, conseguente responsabilità di come questi blocchi vengono distribuiti agli utenti.
- ❑ Mantenimento delle informazioni di cui il Local Internet Registry è responsabile all'interno di un database (Allocation Registry). Per un Local Internet Registry non è indispensabile la creazione di un database locale; è sufficiente che esso abbia una copia (*mirror*) del database del proprio Regional Registry e mantenga aggiornati i dati di cui è responsabile inviando gli aggiornamenti (*update*) al Regional Registry

stesso. Il database, o l'eventuale copia, devono poter essere consultati dalla comunità Internet. In realtà il LIR italiano, la Registration Authority, detiene un proprio database dei nomi a domini ".it" separato da quello del suo RIR corrispondente, RIPE NCC.

La funzione di Local Internet Registry può essere esercitata da qualsiasi organizzazione che decida di svolgere tale compito. Ogni Regional Registry può stabilire le regole e le quote annuali perché una organizzazione possa diventare Local Internet Registry. In Figura 4 è rappresentata la struttura del RIPE NCC Internet Registry.

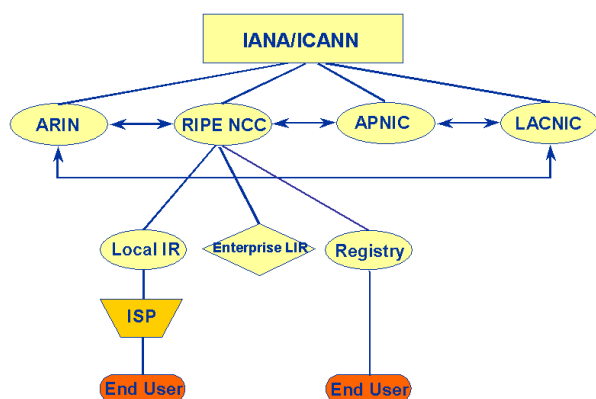


Figura 4 – La struttura del RIPE NCC Internet Registry

Questa gestione gerarchica dello spazio indirizzi IP è stata realizzata solo di recente, al fine della ottimizzazione della distribuzione degli indirizzi. L'enorme dimensione delle tabelle di *routing* ha reso necessaria la aggregazione degli annunci IP, almeno a livello regionale (America, Europa); tale aggregazione è però possibile solo con indirizzi contigui. Attualmente lo spazio indirizzi gestito gerarchicamente si basa su questa distribuzione geografica, a differenza di quello assegnato in precedenza, che era di tipo centralizzato: l'aggregazione degli annunci di *routing* a livello regionale è pertanto possibile solo in parte. Per cercare di massimizzare la aggregabilità delle reti è stato proposto il seguente piano d'azione:

- ❑ le classi C appartenenti al blocco 192.0.0.0/8 potrebbero essere restituite al Regional Registry il quale provvederà a una nuova assegnazione (equivalente). Questa azione prende il nome di *renumbering*.

- ❑ Il LIR potrebbe richiedere al Regional Registry uno spazio indirizzi appartenente alle classi A disponibili (per RIPE-NCC tale classe è la 62.0.0.0/8) ed utilizzare tale spazio per il *renumbering*, eventualmente globale, degli indirizzi gestiti.

Il Local Internet Registry deve offrire supporto ai propri utenti durante la fase di *renumbering*. Da quanto detto finora si deduce che la distribuzione dello spazio indirizzi IP è strettamente legata al *routing* degli stessi indirizzi; analogamente all'Allocation Registry Database, quindi, è stata istituita la creazione del **Routing Registry Database**.

Le informazioni contenute nel *Routing Registry* database sono relative agli *Autonomous System* che originano annunci IP, agli stessi annunci e alle informazioni relative agli apparati di *routing*. Il contenuto di questo database viene utilizzato dalla maggior parte dei gestori di Internet per generare i file di configurazione degli apparati di *routing*; risulta quindi indispensabile che le informazioni in esso contenute siano consistenti con quanto effettivamente implementato su tali apparati [7].

Computer dal nome "umano": il Domain Name System

Internet Protocol Address (indirizzamento IP) è il metodo, descritto in precedenza, che usa un numero di 32 bit per identificare univocamente un calcolatore in rete. Sebbene tali indirizzi siano un sistema conveniente e compatto per specificare la sorgente e la destinazione dei pacchetti che transitano sulla rete, è una grande comodità per gli utenti poter assegnare ai computer dei nomi pronunciabili, semplici e di facile memorizzazione. A tale scopo è stato creato uno schema per assegnare nomi significativi di alto livello ad un ampio insieme di macchine ed un algoritmo per definire le corrispondenze tra questi nomi in linguaggio naturale ed i corrispondenti valori numerici di indirizzo IP. Questo modo di identificare le macchine, necessita infatti di un sistema in grado di tradurre gli indirizzi numerici in nomi e viceversa.

Il primo insieme di nomi di computer realizzato, adottava uno spazio *flat* dei nomi, cioè "piatto", privo di alcuna gerarchia, ove ciascun identificativo consisteva in una sequenza di caratteri, priva di strutture "dichiarate" o deducibili dal nome di una macchina.

Questa veniva definita localmente in un file di testo (dal nome "*hosts*") con il seguente formato [1]:

131.1.2.1 alpha
131.1.2.2 beta
131.1.2.3 gamma
131.1.2.4 delta mycomputer
131.1.3.2 epsilon
131.1.4.2 iota

Questo approccio divenne impraticabile quando la rete IP cominciò a crescere fino a raggiungere dimensioni superiori a quelle gestibili in maniera efficiente da un ristretto gruppo di persone.

Un unico organismo centrale, lo *Stanford Research Institute Network Information Center* (SRI-NIC) si preoccupava di mantenere tutte le corrispondenze in un singolo file, chiamato *HOSTS.TXT*. Gli amministratori dei sistemi connessi alla rete, allora ARPAnet e progenitrice dell'attuale Internet, inviavano i propri cambiamenti al SRI-NIC e scaricavano successivamente il file *HOSTS.TXT* con le modifiche avvenute. Questo pesante meccanismo divenne ancor più inadeguato quando ARPAnet iniziò ad utilizzare il protocollo TCP/IP e la popolazione della rete a crescere esponenzialmente; infatti il metodo basato sul file *HOSTS.TXT* presentava alcuni problemi legati alla sua struttura:

1. **Collisione dei nomi:** capitava di frequente avere due nomi di computer identici in rete e questo si scontrava con il presupposto di univocità preposto.
2. **Consistenza:** mantenere aggiornato il file *HOSTS.TXT* diveniva sempre più difficile, visti i continui aggiornamenti che venivano richiesti.
3. **Traffico e carico:** gli strumenti presenti presso lo SRI-NIC divennero inefficienti a causa dell'elevato traffico di rete dell'alto carico di lavoro che dovevano subire i processori dei Server allestiti.

Fu cercata, di conseguenza, una tecnologia valida per sostituire il metodo fino ad allora utilizzato, e possibilmente capace di soddisfare meglio le esigenze future, scalabile (cioè stabile nelle prestazioni al crescere delle dimensioni della rete), di impatto poco significativo sulla

rete, facile da gestire e garante dell'integrità dei nomi di dominio esistenti. La soluzione fu trovata nella decentralizzazione del meccanismo di attribuzione dei nomi tramite uno schema gerarchico. Questo schema delega l'autorità di assegnazione dei nomi ad entità secondarie e distribuisce di conseguenza la responsabilità della loro traduzione in indirizzi. Per comprenderne meglio il funzionamento si può paragonarlo alla distribuzione di competenze in una grande azienda. Il procedimento per attivare un sistema gerarchico di assegnazione dei nomi delle macchine per reti TCP/IP si chiama *Domain Name System* (DNS). Il DNS nacque ufficialmente nel 1984, quando Paul Mockapetris creò la basilare struttura del nuovo sistema e rilasciò in rete i documenti **RFC0882** e **RFC0883**. I documenti correnti dei protocolli sono invece rappresentati dagli **RFC1034** e **RFC1035**.

È importante notare che l'uso del file *HOSTS* non è scomparso del tutto. Trova ancora applicazione all'interno di reti di piccole dimensioni, dove l'uso di un singolo file per mantenere le corrispondenze risulta spesso più pratico che installare un server DNS interno. Nelle comunicazioni tra rete locale, chiusa, e rete Internet rimane comunque indispensabile affidarsi ad un DNS. Nonostante il sistema DNS sia stato concepito quando nessuno avrebbe potuto prevedere uno sviluppo di Internet pari a quello avutosi negli ultimi anni, esso ha dimostrato di possedere una intrinseca scalabilità, mantenendo la sua efficacia quasi intatta anche di fronte all'aumento spettacolare delle macchine collegate in rete.

Il DNS comprende due aspetti concettualmente indipendenti. Il primo è astratto: specifica la sintassi dei nomi e le regole per delegare l'autorità sui nomi. Il secondo è estremamente concreto: specifica l'attuazione di un sistema efficiente per convertire i nomi delle macchine collegate in rete in indirizzi IP e viceversa.

Bibliografia

- [1] S. Gai, PL. Montessoro, P. Nicoletti, *Reti Locali. Dal cablaggio all'internetworking*, II edizione, L'Aquila, Italia, Scuola Superiore G. Reiss Romoli; 1995
- [2] DE. Comer, *Internetworking with TCP/IP, volume 1: principles protocols, and architecture*, 4th edition, New Jersey, Prentice Hall; 2000
- [3] V. Fuller, T. Li, J. Yu, K. Varadhan, *RFC1519. Classless Inter-Domain Routing*

(CIDR): *an Address Assignment and Aggregation Strategy*, Settembre 1993, disponibile all'indirizzo URL:

<http://www.faqs.org/rfcs/rfc1519.html>

Data ultimo accesso: 12 dicembre 2002

- [4] S. Deering, R. Hinden, *RFC1883. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*, Dicembre 1995, disponibile all'indirizzo URL:

<http://www.faqs.org/rfcs/rfc1883.html>

Data ultimo accesso: 12 dicembre 2002

- [5] IANA, *Domain name services*, disponibile all'indirizzo URL:

<http://www.iana.org/domain-names.htm>

Data ultimo accesso: 12 dicembre 2002

- [6] ICANN, *The internet corporation for assigned names and numbers*, disponibile all'indirizzo URL:

<http://www.icann.org>

Data ultimo accesso: 12 dicembre 2002

- [7] E. Ghermandi, D. Salomoni, *Servizio di local internet registry per il GARR. 1997*, disponibile all'indirizzo URL:

<http://www.cnaf.infn.it/GARR-B/DOC/garr-lir-proposta.html>

Data ultimo accesso: 12 dicembre 2002